

TELHADOS VERDES INTEGRADOS À TECNOLOGIA FOTOVOLTAICA

José Bione de Melo Filho – jbionef@bol.com.br

Mestrado Profissional em Tecnologia da Energia – Escola Politécnica de Pernambuco (UPE)

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco (IFPE)

Companhia Hidro Elétrica do São Francisco - CHESF

Gabriela de Lima Matos – gabrielamatos@gmail.com

Especialização em Energia Renovável – Escola Politécnica de Pernambuco (UPE)

Resumo. *O presente trabalho tem como objetivo analisar a viabilidade técnica da integração da geração de energia solar fotovoltaica em telhados com cobertura vegetal. A principal justificativa se baseia na melhora da eficiência dos módulos fotovoltaicos (FV) quando aplicados sobre superfícies vegetais por conta do resfriamento da região, principalmente se aplicados em cidades situadas em baixas latitudes, como as da região litorânea do Nordeste brasileiro. A análise das tecnologias disponíveis no mercado brasileiro de ambos os sistemas e a elaboração de guias orientadores de planejamento e execução foram produtos do estudo da viabilidade técnica, assim como foram explicitados os benefícios da união dos sistemas nas edificações e nos centros urbanos. A sinergia entre a tecnologia fotovoltaica instalada em telhados verdes se demonstrou viável, melhorando as condições climáticas em zonas urbanas.*

Palavras-chave: *Telhado Verde. Energia Fotovoltaica, Sustentabilidade.*

1. INTRODUÇÃO

O impacto das atividades humanas sobre o planeta se mostra bastante prejudicial à natureza e à manutenção do bem estar das pessoas, além de estar bem próximo do esgotamento de fontes de energia fósseis. O aumento do consumo de energia se mostra inevitável à medida que os centros urbanos se desenvolvem, as populações crescem e as demandas por insumos são cada vez maiores. Além disso, o aumento da temperatura global, devido ao aumento da emissão dos gases do efeito estufa, começa a provocar alterações no clima trazendo prejuízos sociais, ambientais e econômicos (América do sol, 2016).

O modelo de desenvolvimento sustentável é um conceito que vem sendo implementado na maior parte dos centros urbanos, buscando suprir as necessidades da geração atual, sem comprometer a capacidade de atender às futuras gerações, levando em consideração a integração entre economia, sociedade e meio ambiente. Nos centros urbanos, que concentram a grande maioria da população, a demanda por espaços livres é altíssima. Segundo o novo modelo sustentável de desenvolvimento, o aproveitamento, reutilização ou reciclagem dos espaços é uma premissa importante no planejamento urbano e das edificações. É a partir dessa vertente que o trabalho proposto preconiza a utilização das coberturas das edificações através da implantação dos chamados tetos verdes, criando “novas” áreas de convívio a partir de espaços pré-existentes, além de contribuir para a diminuição da carga térmica da edificação.

Aliado à crise por espaços de qualidade nas cidades, existe o aumento da demanda energética.. Devido às mudanças climáticas, sentidas com mais intensidade nos últimos 5 anos, essa matriz está sendo fortemente prejudicada, comprometendo a oferta de energia e aumentando os custos finais aos consumidores, que buscam novas alternativas.

Por possuir um vasto território que apresenta um grande potencial de insolação por estar localizado entre os trópicos, a fonte solar tem se mostrado uma alternativa viável ao país. Mesmo as regiões com menores índices de radiação apresentam grande potencial de aproveitamento energético, conformando um amplo território para a expansão da geração de energia solar com sistemas fotovoltaicos. A implantação e revisões nas regulamentações para as micro e mini gerações através de fontes renováveis promovem o crescimento deste setor. A implantação do sistema de geração de energia fotovoltaica sobre os telhados verdes surge a partir das premissas supracitadas de desenvolvimento sustentável e é somada ainda ao aumento da eficiência do sistema fotovoltaico devido ao resfriamento da região da cobertura onde é aplicado, conforme comprovam as pesquisas realizadas, citadas no trabalho.

O objetivo do trabalho é analisar a viabilidade técnica da integração da geração de energia solar fotovoltaica em telhados com cobertura vegetal. Aplicada na faixa litorânea da região Nordeste do Brasil, onde se localiza as maiores cidades da região, com as maiores populações e demandas por estratégias de desenvolvimento sustentável das cidades. Apresentando um clima litorâneo úmido, com temperaturas de média anual de 29°C e níveis de radiação solar com média de 2600h/ano (INMET, 2016).

2. TELHADO VERDE

O termo ‘Telhado Verde’ é popularmente utilizado para descrever telhados cobertos por vegetação. No entanto o sistema é muito mais amplo: coberturas com painéis solares, brancas com alta emissividade e refletividade ou até

mesmo telhados com telhas *shingle* de grande duração podem ser considerados telhados verdes. O termo correto seria “Telhado Verde com Vegetação” (2030 STUDIO, 2016). Para fins dessa pesquisa, será utilizada a nomenclatura de “telhado verde” para se referir às coberturas com recobrimento vegetal, sejam elas planas ou inclinadas.

Ao dimensionar e instalar uma cobertura verde é importante fornecer às espécies vegetais um ambiente de desenvolvimento tão próximo quanto possível do ambiente natural, protegendo o edifício. O fator mais importante é compensar a ausência de subsolo (Zinco, 2016). As tipologias podem ser classificadas de acordo o tipo de uso e a manutenção que a cobertura irá demandar, podendo o cultivo ser de dois tipos:

a) Intensivo

Incluem virtualmente toda a gama de plantas e opções de espécies disponíveis para o paisagismo, horticultura e agricultura convencional, proporcionando ilimitadas combinações de formas, cores e texturas. As limitações quanto ao uso de árvores e arbustos são determinadas pelas condições estruturais da obra em questão. São altamente dependentes de irrigação e demandam manutenções e adubação frequente (Studio Cidade Jardim, 2016), Fig. 1 (a).

b) Extensivo

As coberturas verdes extensivas constituem uma alternativa ecológica à proteção de superfície convencional, como a gravilha, godo ou betonagem. Os sistemas são leves e têm uma reduzida altura de construção. As plantas mais adequadas conseguem comportar as condições das coberturas (sol, vento, seca, etc). Após o estabelecimento da vegetação, a manutenção limita-se a duas ou três inspeções por ano. (Zinco, 2016), Fig. 1 (b).



(a) (b)
 Figura 1 – Telhados verdes (a) intensivos e (b) extensivos.

Fonte: (a) (Studio Cidade Jardim, 2016), (b) (Smarter Cities, 2016).

Também pode-se classificar os telhados verdes segundo a tecnologia utilizada, podendo ser:



(a) (b)
 Figura 2 – (a) sistema modular plantado *in loco* e (b) sistema monolítico.
 Fonte: (Studio Cidade Jardim, 2016).

c) Sistemas monolíticos

São os sistemas onde a aplicação das mantas e substratos ocorrem diretamente no telhado sem o uso de módulos pré-fabricados. As inclinações máximas permitidas para esses sistemas são de 5° (8,7%), Fig. 2 (b).

d) Sistemas modulares plantados *in loco*

São os sistemas que fazem uso de módulos pré-fabricados para compor a base estrutural da cobertura vegetal e fazem a irrigação no telhado por capilaridade. As inclinações máximas variam bastante a depender da tecnologia utilizada para a contenção do deslizamento do substrato, Fig. 2 (a).

e) Sistemas modulares transportáveis

São os sistemas que fazem uso de módulos pré-fabricados e que podem ter o cultivo da vegetação realizado em local diferente do local onde o telhado verde será aplicado. A inclinação máxima permitida nesse sistema chega a até 35%, Fig. 3.



Figura 3 – Sistema modular transportável.

Apesar de captarem as águas das chuvas para a irrigação, não é eliminada a necessidade de ser executado um sistema de irrigação tradicional para épocas de secas prolongadas. Segundo Zinco (2016), em coberturas extensivas deve-se utilizar a rega para assegurar a correta implementação da vegetação, reduzindo lentamente até ao ponto de apenas recorrermos à rega em situações de seca extrema.

Também em comum, todos os sistemas precisam ter uma contenção em todo o perímetro do substrato (tanto para telhados planos ou inclinados) e sistemas de drenagem para o caso de excesso de água da chuva.

Os custos de implantação dos telhados verdes inicialmente são maiores se comparados às coberturas tradicionais sem esse revestimento, contudo, os ganhos se mostram na manutenção e vida útil da edificação. As vantagens proporcionadas pela presença de uma cobertura vegetal são elencadas abaixo:

- Diminui a carga térmica da edificação, contribuindo para a consequente diminuição do consumo energético gerado pela necessidade de refrigeração ou aquecimento artificiais (que representam um dos maiores consumidores de energia de uma edificação) no pavimento localizado abaixo da superfície coberta pelo telhado verde;
- Acúmulo e reaproveitamento das águas das chuvas para irrigação do próprio telhado verde;
- Diminuição das ilhas de calor urbanas;
- Filtração dos gases poluentes através do processo de fotossíntese dos vegetais;
- Restauração do habitat natural, contribuindo para o resgate da fauna urbana no local, aumentando a biodiversidade;
- Diminuição da poluição sonora no pavimento inferior;
- Efeitos terapêuticos para os usuários, pelo contato com áreas naturais;
- Criação de novas áreas cultiváveis, possibilitando hortas urbanas;
- Umidificação do ar, que nos meses mais secos, contribui para a melhora da qualidade do ar.

Como pode-se perceber, a implantação de telhados verdes, principalmente em centros urbanos, demonstra-se uma solução eficaz dentro do conceito de desenvolvimento sustentável, independente do tipo de uso da edificação.

Atualmente, em algumas cidades do país, existem leis de incentivo à sua aplicação, com diminuição de alguns impostos, caso haja a presença de telhado verde na edificação. Em alguns casos, os prédios de uso público têm a obrigatoriedade de utilizar esse sistema, sempre que for viável, contribuindo para a popularização deste tipo de tecnologia.

3. INTEGRAÇÃO ENTRE O SISTEMA FOTOVOLTAICO E O TELHADO VERDE

A partir do final da década de 90, tem-se registro de pesquisas e testes realizados na América do Norte, Europa e Ásia, onde foi comparada a implantação de módulos fotovoltaicos sobre telhados com e sem cobertura vegetal. Os testes decorrem a partir do princípio de que os sistemas elétricos têm sua eficiência reduzida quando expostos a temperaturas elevadas. No caso dos módulos fotovoltaicos com células de silício cristalino, para cada grau Celsius elevado acima dos 25°C tem-se uma redução de 0,45% na produção de energia, em média.

Testes realizados por Köhler, *et al.* em 2007, em Berlim (latitude 52°N), mostraram aumentos na faixa de 1% a 10% quando comparadas às implantações de módulos fotovoltaicos sobre telhados verdes em relação a coberturas sem a presença de vegetação. Ainda no mesmo estudo, chegou-se à conclusão que os custos de implantação de coberturas

vegetais no lugar de sistemas de rastreamento da luz solar (*tracking*), para o aumento da eficiência dos sistemas fotovoltaicos, eram menores.

Na pesquisa de Sam e Chan, 2011, realizada em Hong Kong (latitude 22°N), os módulos fotovoltaicos foram aplicados na cobertura da biblioteca da Universidade de Hong Kong e foram criadas 4 situações: laje plana com e sem módulos FV, laje plana com cobertura vegetal com e sem módulos FV. O aumento da produção de energia dos módulos aplicados sobre o telhado verde foi de 8,3%.

Nos testes realizados na cidade de Lleida (latitude 41°N), Espanha, por Chemisana, *et al.* em 2014, foram considerados também dois tipos diferentes de vegetação (*Sedum Clavatun* e *Gazania Rigens*) além da laje coberta por cascalho numa locação que sofre a influência do Mar Mediterrâneo e possui durante boa parte do ano temperaturas elevadas e altos níveis de insolação. Os resultados indicaram aumentos de 1,29% a 3,33%, dependendo da vegetação utilizada, em relação à aplicação dos módulos em lajes sem cobertura vegetal.

Tabela 1 – Comparação entre os sistemas instalados.

Referência	Tipo de Estudo	Sistema	Região	Tempo de análise considerado	Espécies de plantas	Resultados do aumento da eficiência do FV	Sistemas comparados
Köhler, et al.	Experimental	Larga escala	Berlim, Alemanha	5 anos	Espécies de <i>Sedum</i> na maioria	Depende da configuração ^a	Teto-verde FV x várias configurações
Hui e Chan	Experimental	Larga escala	Hong Kong, China	Dias de verão, das 11:00 às 14:00	<i>Sedum</i>	4,3%	Teto-verde FV x laje plana nua
Perez, et al.	Experimental	Pequena escala	Nova Iorque, EUA	Junho	Variedades de <i>Sedum</i>	2,56% ^b	Teto-verde FV x laje com cascalho
Chemisana e Lamnatou	Experimental	Pequena escala	Lleida, Espanha	Junho – Julho	<i>Gazania Rigens</i> , <i>Sedum Clavatun</i>	1,29% (<i>G.Rigens</i>), 3,33% (<i>S.Clavatun</i>)	Teto-verde FV x laje com cascalho
Nagengast, et al.	Experimental	Larga escala	Pittsburg, EUA	Julho ^c	Musgos	0,5%	Teto-verde FV x FV preto
Witmer	Modelagem		Diferentes locações nos EUA			0,08-0,55%	
Hui e Chan	Modelagem		Hong Kong, China	1 ano		8,3%	Teto-verde FV x FV sem vegetação

A Tab. 1 compara varios tipos de instalações, baseado nos estudos citados na literatura existente, pode-se concluir que o aumento da eficiência dos módulos FV causado pelo resfriamento, ocasionado pela presença de uma massa vegetal próxima, existe e sofre a influência de vários fatores, entre eles o clima, o tipo de vegetação utilizada, e célula FV, etc, podendo alcançar valores de até 10% em relação à aplicação dos módulos sem a camada vegetal.

Localidades que possuem temperaturas anuais médias com valores acima de 25°C são áreas que necessitam investir em tecnologias que causem o resfriamento nas áreas de geração de energia fotovoltaica para que as perdas sejam menores. Os estudos não mostram, entretanto, testes realizados em áreas com baixas latitudes, como as regiões localizadas entre os Trópicos (latitudes entre 23°N e 23°S), o que evidencia a necessidade de ampliação de estudos nessa região, onde boa parte das localidades possuem as características climáticas citadas acima. Como nessas regiões tropicais os índices de insolação têm valores elevados, o resfriamento dos módulos tende a causar aumentos de eficiência que se mostrem maiores do que os já estudados em regiões de clima temperado.

O aumento da produção de energia ocasionado pelo resfriamento dos módulos FV pode diminuir o tempo de retorno financeiro investido tanto em sua implantação, quanto no valor da instalação de um telhado verde, ao invés de uma cobertura impermeabilizada ou com telhas, além de reduzir o consumo energético da edificação, ocasionado pela diminuição da demanda por ar condicionado. Após os diversos encontros mundiais ocorridos durante as últimas décadas, boa parte dos países se comprometeu a reduzir seus impactos ambientais. O setor da construção civil, por ser considerado um dos grandes geradores de gases do efeito estufa e resíduos urbanos, a partir de então, criou normas para reduzir os impactos causados pelas suas atividades (Sustentarqui, 2016).

Os pilares das certificações das edificações baseiam-se em criar planejamentos, construções e manutenções das edificações, de maneira que sejam socialmente justas, ambientalmente conscientes e economicamente viáveis, que são as três vertentes do desenvolvimento sustentável.

Atualmente, existem várias certificações criadas a partir de instituições públicas ou privadas que oferecem categorias de selos de acordo com a quantidade de pontos creditados aos procedimentos instalados durante todo o processo, desde o planejamento até a pós ocupação e manutenção das edificações. Entre eles pode-se citar as certificações LEED (Leadership in Energy and Environmental Design), AQUA (Alta Qualidade Ambiental do Empreendimento), Breeam (Building Research Establishment), DGNB (Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen), Procel Edifica (Programa Nacional em Eficiência Energética em Edificações), Casa Azul e o Qualiverde.

Os benefícios de produzir edificações certificadas são da ordem econômica, social e ambiental e estão descritas abaixo, segundo os parâmetros do GBC Brasil (Green Building Council Brasil):

Benefícios econômicos: Diminuição dos custos operacionais, Diminuição dos riscos regulatórios, Valorização do imóvel para revenda ou arrendamento e Modernização e menor obsolescência da edificação.

Benefícios sociais: Melhoria na segurança e priorização da saúde dos trabalhadores e ocupantes, Inclusão social e aumento do senso de comunidade, Capacitação profissional e Conscientização de trabalhadores e usuários, Estímulo a políticas públicas de fomento à Construção Sustentável.

Benefícios ambientais: Uso racional e redução da extração dos recursos naturais, Redução do consumo de água e energia, Implantação consciente e ordenada, Mitigação dos efeitos das mudanças climáticas, Uso de materiais e tecnologias de baixo impacto ambiental, Redução, tratamento e reuso dos resíduos da construção e operação.

Os sistemas de certificações criam pontuações de acordo com pré-requisitos e recomendações desejáveis. Ao final do processo, a edificação recebe um selo que pode gerar uma determinada quantidade de créditos de carbono ou atrair benefícios fiscais, além de contribuir para o desenvolvimento sustentável das cidades.

4. METODOLOGIA

A metodologia adotada é baseada na pesquisa sobre aplicação da união dos sistemas de geração de energia fotovoltaica em telhados verdes. Também foram levantadas as tecnologias disponíveis no mercado brasileiro para ambos os sistemas. Os parâmetros de avaliação utilizados foram de ordem técnica, sendo estudada a viabilidade de instalação segundo os parâmetros existentes no mercado atual. Foi delimitada uma região específica para o foco da pesquisa, no caso a região litorânea do Nordeste brasileiro, onde estão localizadas as maiores cidades dessa região que têm a demanda necessária para a aplicação dos sistemas integrados.

Foram realizadas entrevistas com profissionais das áreas específicas como o paisagista Luciano Lacerda, proprietário da empresa Villa Garden, que executa jardins verticais e tetos jardins há 7 anos e contribuiu na seleção das espécies vegetais nativas a serem utilizadas, e Catarina Durães, proprietária da Ecogreen, que executa telhados verdes há 5 anos e esclareceu os parâmetros técnicos sobre a instalação de telhados verdes.

Ao final da análise, foram criados fluxogramas que servem de guia orientador para o planejamento e execução da união dos sistemas fotovoltaicos e dos telhados verdes.

Existem no mercado atual diversos tipos de fixação dos módulos fotovoltaicos em coberturas. Em regra geral, são utilizados perfis de aço inoxidável ou alumínio que garantem a estabilidade dos módulos. Há diferenças em algumas peças de encaixe entre os trilhos e a base, que variam de acordo com fabricante e com o tipo de cobertura onde o sistema fotovoltaico será aplicado. Para coberturas inclinadas com telhas, existem peças que são aparafusadas à estrutura da cobertura, necessitando apenas o afastamento de algumas telhas nos locais onde as peças serão aplicadas.

Para as coberturas com laje plana impermeabilizada, a fixação envolve menos componentes, uma vez que há menos interferência na estanqueidade da cobertura e não há telhas para serem removidas. Para fins dessa pesquisa, será aprofundada a aplicação dos sistemas fotovoltaicos sobre coberturas planas, principalmente pela possibilidade de criação de novos espaços que possam ser utilizados pelos usuários da edificação como áreas de convívio.

Nas lajes planas impermeabilizadas, a fixação de sistemas fotovoltaicos é realizada buscando garantir a estanqueidade da impermeabilização. Para isso, geralmente é executada uma base em alvenaria ou blocos em concreto, para que os perfis metálicos sejam aparafusados. A inclinação ideal dos módulos é garantida pelo ângulo dos perfis montados. Esse tipo de fixação ainda garante um pequeno distanciamento (de cerca de 20cm, se for executada uma fiada de alvenaria, por exemplo) entre os módulos e laje, o que é uma vantagem para a aplicação dos telhados verdes.

Existem também no mercado base de fixação pronta para a aplicação do módulo fotovoltaico, sendo o sistema metálico apenas apoiado sobre a laje, sem necessidade de perfuração para o aparafusamento e consequente vulnerabilização da impermeabilização. Por conta disso, o lastro é feito através de blocos de concreto sobre bandejas laterais, fornecidas pelo fabricante no kit de montagem ou sob os módulos, com placas de concreto. Nesse tipo de fixação, os módulos ficam mais próximos da laje, uma vez que a altura do sistema não é editável. A vantagem é que ele pode ser aplicado após a cobertura vegetal estar montada, oferece menos sobrepeso à laje por conta da ausência das fiadas de alvenaria, não corre o risco de danificar a impermeabilização existente e pode ser facilmente deslocado em caso de necessidade. A inclinação fornecida pelo fabricante desse sistema de fixação é fixada em 10°, ideal para utilização em locais com baixas latitudes, como as cidades do Nordeste, por exemplo. Essa inclinação mínima garante também a autolimpeza dos vidros dos módulos fotovoltaicos.

Ainda existe uma terceira opção de fixação dos módulos, que são perfis metálicos que se encaixam nos módulos drenantes, que servem de base para o telhado verde. Nessa opção, o conjunto de sistema de fixação fotovoltaica e telhado verde devem ser do mesmo fabricante, uma vez que as peças são produzidas sob medida para o encaixe perfeito dentro desse sistema integrado. Por ser um sistema que foi criado para a aplicação em médias e altas latitudes, seria necessária pequena adaptação na angulação da base metálica a fim do sistema se adapte às baixas latitudes. Fig. 4.



Figura 4 – Sistema de fixação modular com encaixe dos suportes no sistema para telhados verdes.

Fonte: (Zinco, 2016).

Todos os sistemas podem ser utilizados para a aplicação em lajes planas que irão receber algum tipo de recobrimento vegetal, garantindo a estanqueidade do local e a estabilidade do sistema fotovoltaico. A seleção do tipo de fixação pode variar de acordo com o tipo de telhado verde a ser aplicado e também com a disponibilidade financeira para a execução. As eficiências dos sistemas são semelhantes e todos oferecem as condições para o bom funcionamento da produção de energia.

Deve-se ainda atentar para a locação dos módulos, para que as construções e/ou interferências na cobertura não produzam sombra sobre o conjunto. Elementos como caixas d'água e platibandas são exemplos de interferências que podem causar perdas na produção de energia caso estejam muito próximos ao arranjo fotovoltaico. O estudo da locação da fixação do sistema fotovoltaico deve ser realizado com cuidado durante o planejamento e dimensionamento do sistema, garantindo que todos os elementos coexistam no mesmo local e tenham suas eficiências garantidas.

Para a montagem de uma cobertura vegetal, conformando um teto jardim ou telhado verde, pode-se selecionar qualquer tipo de vegetal, a depender apenas do uso que se deseja aplicar ao local. Os substratos e tecnologias existentes no mercado atual garantem o bom desenvolvimento de uma grande diversidade de espécies.

Contudo, para a utilização dos telhados verdes juntamente com os sistemas de geração de energia fotovoltaica, a premissa principal é que o vegetal não produza sombra sobre os módulos FV para que a produção de energia não seja prejudicada. Com isso, espécies de médio e grande porte são desaconselhadas a serem implantadas próximas ao arranjo fotovoltaico. O tipo de cultivo extensivo é o mais indicado para as áreas próximas aos módulos.

Em pesquisa realizada por Chemisana, *et al.* (2015) na Universidade de Lleida, Espanha, em 2014, foi utilizada uma metodologia de avaliação de espécies a serem aplicadas na união com sistemas de geração de energia fotovoltaica. O método estabeleceu 6 critérios de avaliação, que se dividiam em categorias relacionadas e recebiam pontuações de 1 a 3 (sendo 1 a pior e 3 a melhor opção). Somado os pontos, cada critério recebia um peso diferente no somatório final, onde os fatores mais importantes para a integração dos sistemas possuíam pesos maiores. O resumo do método de avaliação, dos critérios e sistema de pontuação podem ser analisados na Tab. 2.

Tabela 2 - Critérios de avaliação da vegetação aplicada sobre telhados verdes para interação com módulos fotovoltaicos.

Critérios	Peso	
1	Sustentabilidade em telhados extensivos	10%
2	Resistência à água	10%
3	Interação com os módulos fotovoltaicos	30%
4	Interação com a edificação	30%
5	Interação com o meio externo	10%
6	Outros fatores	10%

Fonte: Chemisana, *et al.* (2015), adaptado (2017).

A escolha por espécies nativas também é aconselhada, na medida em que diminui os custos de implantação e manutenção e resgata a flora local, oferecendo aos usuários o contato com a natureza vernacular. Para a seleção das espécies indicadas para um telhado verde a ser implantado numa cidade do litoral do Nordeste brasileiro, tomou-se como referência, as espécies selecionadas na pesquisa de Chemisana, *et al.* (2015). Procurou-se então, baseado nos resultados encontrados, cancelar ou substituir as espécies que pudessem ser de difícil acesso ou maturação na região litorânea brasileira. A Tab. 3 apresenta as espécies mais propícias a serem aplicadas na região costeira Nordestina.

Após analisar a Tab. 3, pode-se concluir que as espécies indicadas para a utilização em telhados verdes em cidades do litoral do Nordeste brasileiro, quando casadas com a geração de energia fotovoltaica, além das suculentas, como a *Sedum Clavatum* e das Gazânias (*Gazania Rigens*) são as Rosinhas de Sol, 11 horas e Dinheiro em Penca, que são espécies rasteiras e têm as características semelhantes às selecionadas nos teste de campo de Chemisana, *et al.* (2015), todas resistentes a sol pleno ou meia sombra. Considerando que uma das características climáticas marcantes da região litorânea do Nordeste brasileiro são os altos índices pluviométricos em determinadas épocas do ano, é indicado que para o uso de suculentas, pode ser realizado um tratamento do substrato para que o excesso de umidade seja removido e o

ambiente favorável ao desenvolvimento da espécie seja resgatado. A utilização da irrigação nas épocas de escassez pluviométrica excessiva é necessária para que seja mantido o resfriamento do solo e a manutenção de seus nutrientes para o bom desenvolvimento dos vegetais.

Tabela 3 – Espécies nativas propícias a serem usadas em telhados verdes com geração de energia fotovoltaica no litoral do nordeste brasileiro.

Família	Espécie		Imagem
	Nome Popular	Nome Científico	
<i>Aizoaceae</i>	Rosinha de sol	<i>Aptenia</i>	
<i>Portulacaceae</i>	11 horas	<i>Portulaca Grandiflora</i>	
<i>Commelinaceae</i>	Dinheiro em penca / tostão	<i>Pilea Nummulariifolia</i>	

Uma estratégia que deve ser aplicada nos telhados verdes que geram energia fotovoltaica é utilizar as espécies indicadas como mais adequadas nas áreas próximas dos módulos fotovoltaicos, garantindo assim a eficiência da coexistência dos dois sistemas e todos os seus benefícios e, nas áreas mais distantes do arranjo gerador de energia, utilizar de maneira mais livre a variedade da flora disponível, com a possibilidade de criação, por exemplo, de hortas urbanas, jardins de essências, jardins sensoriais ou qualquer outro tipo de vegetal que seja conveniente ao uso do espaço, uma vez que a diversidade da flora potencializa os benefícios anteriormente citados. No quesito da sustentabilidade urbana, as espécies suculentas não são as mais favoráveis por realizarem a fotossíntese CAM, quando os estômatos do vegetal se abrem apenas no período noturno para a captação do CO₂ para reduzir as perdas de nutrientes durante o período diurno, significando que nos períodos de maior produção de CO₂ essas plantas estão inertes à filtragem do ar. Contudo, a estratégia de utilização da variedade das espécies vegetais no mesmo telhado compensa essa desvantagem que as suculentas têm em relação às outras espécies.



Figura 5– Telhados verdes com geração de energia solar fotovoltaica com a vegetação adequada.
Fonte: (a) (Studio Cidade Jardim, 2016).

5. RESULTADOS

Para o planejamento e execução, tanto dos sistemas de geração de energia fotovoltaica, Fig. 5, quanto para os telhados verdes, foram criados fluxogramas que têm como objetivo orientar ambas as fases para a implantação das tecnologias.

Na Fig.6, é apresentado o fluxograma de planejamento. Na fase de planejamento, é importante observar o contexto do local onde se pretende aplicar os sistemas. As coberturas podem ser existentes ou fruto de novas construções, planas ou inclinadas, e serem lajes concretadas, estruturas metálicas ou em madeira. Definimos como primeiro passo a definição dessas características, pois vai contribuir para a escolha dos tipos mais eficientes de telhado verde e fixação da geração fotovoltaica a serem aplicados.

O segundo passo é analisar o sombreamento na cobertura. Deve-se considerar as sombras geradas tanto pelos elementos presentes na cobertura como caixas d'água, sistemas de exaustão e ventilação, platibandas, etc, assim como as sombras geradas pelas edificações e vegetações circundantes mais elevadas do que o plano da cobertura em questão.

A terceira etapa, definidos os espaços compatíveis à aplicação da geração de energia, é calcular o dimensionamento do sistema fotovoltaico, delimitando a área que ele precisará ocupar na cobertura e a formatação do arranjo nas áreas adequadas à implantação. O dimensionamento é calculado de acordo com a demanda energética da edificação.

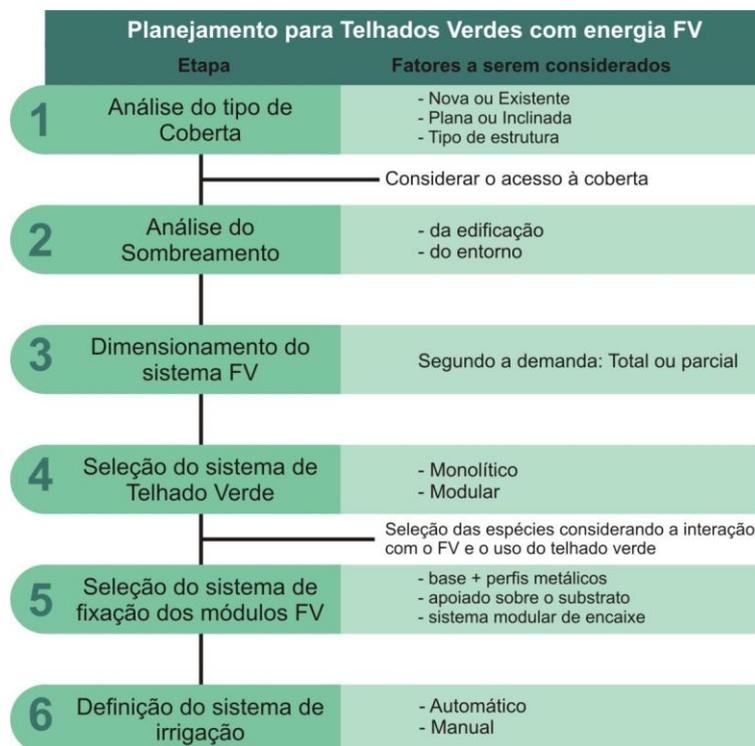


Figura 6 – Fluxograma: Guia de planejamento para telhados verdes integrados a sistemas fotovoltaicos.

O próximo passo é escolher o tipo de tecnologia a ser utilizado na execução do telhado verde, podendo ser usado o sistema modular ou o monolítico. Para o caso da utilização com a geração fotovoltaica, considera-se o uso do plantio extensivo (o plantio intensivo poderá ser utilizado nas áreas afastadas dos módulos fotovoltaicos). A seleção das espécies vegetais que serão utilizadas é a última fase desse tópico e deve se basear, além da eficiência com o sistema fotovoltaico, no tipo de uso que será aplicado ao telhado verde.

Na quinta etapa, deve-se eleger o tipo de fixação dos módulos fotovoltaicos e, conseqüentemente, que infraestruturas serão necessárias para tal aplicação. Pode-se eleger entre a execução de uma base em alvenaria ou blocos em concreto para a fixação dos kits metálicos, o sistema que funciona apoiado diretamente sobre o substrato finalizado ou o kit metálico que é encaixado nos módulos do telhado verde.

O último passo do planejamento é a definição do tipo de sistema de irrigação, se manual ou automático, e previsão e delimitação das drenagens necessárias. Assim, o planejamento do telhado verde com a geração de energia fotovoltaica aborda todos os temas necessários ao bom funcionamento dos sistemas e oferece opções e encaminhamentos para o alcance de uma solução adequada e personalizada para as diversas situações que podem ser encontradas nas práticas construtivas da região litorânea nordestina brasileira.

Para a execução, existe a possibilidade de se montar em laje plana ou coberturas inclinadas, foi adotado a laje plana, por representar 90% das possibilidades. É apresentado como resultado, o guia de execução, Fig. 7. Na execução em lajes planas, a primeira etapa é certificar de que a impermeabilização existente está em boas condições, caso esteja se tratando de uma cobertura existente. Caso seja uma cobertura nova, deve-se executar a impermeabilização regular da laje antes dos passos seguintes. Também deve-se observar a existência dos pontos de drenagem, tanto nas áreas que serão cobertas pela vegetação, quanto as que não serão, caso existam. Os pontos de drenagem devem ser executados e protegidos para a manutenção e drenagem das águas pluviais, caso haja excesso de chuvas em determinados períodos. O próximo passo é executar a base em alvenaria ou blocos em concreto sobre a impermeabilização, caso o sistema de fixação dos módulos FV escolhido necessite.

O terceiro passo é aplicar impermeabilização do telhado verde, que é realizado usualmente com manta plástica (polietileno - PEAD) anti-raiz, que garantirá a estanqueidade da região que receberá a vegetação e acumulará as águas das chuvas. Após essa etapa, deve-se aplicar o sistema do telhado verde que foi determinado no planejamento, caso tenha sido eleita alguma tecnologia modular. Nesse momento, caso tenha sido planejada a aplicação do sistema de fixação dos módulos fotovoltaicos de encaixe, deve-se aplicá-lo sobre os módulos, que irão receber o substrato posteriormente. Caso contrário, deve-se seguir o procedimento com a aplicação de uma membrana de retenção de

nutrientes (um tipo de não tecido) que permite a passagem da água sem a perda dos nutrientes do substrato e evita a proliferação de microrganismos nocivos.

A próxima etapa é inserir o sistema de irrigação planejado. A inserção do sistema servirá tanto para casos de secas prolongadas, quanto para as primeiras semanas de implantação da vegetação, até a adaptação da mesma ao substrato, que dura em média de 30 a 45 dias. Em seguida, deve-se aplicar o substrato escolhido, na quantidade definida em projeto, que varia de acordo com o tipo de vegetação a ser utilizada. Após essa etapa, os vegetais devem ser plantados.

A sexta etapa é fazer a fixação do sistema fotovoltaico sobre a base executada, caso não tenha sido eleito o sistema de encaixe nos módulos do telhado verde, realizado na etapa anterior. Após a fixação dos suportes, os módulos fotovoltaicos devem ser aplicados e em seguida, deve ser realizada a montagem da fiação e conexões do sistema com o inversor ou controlador de carga.

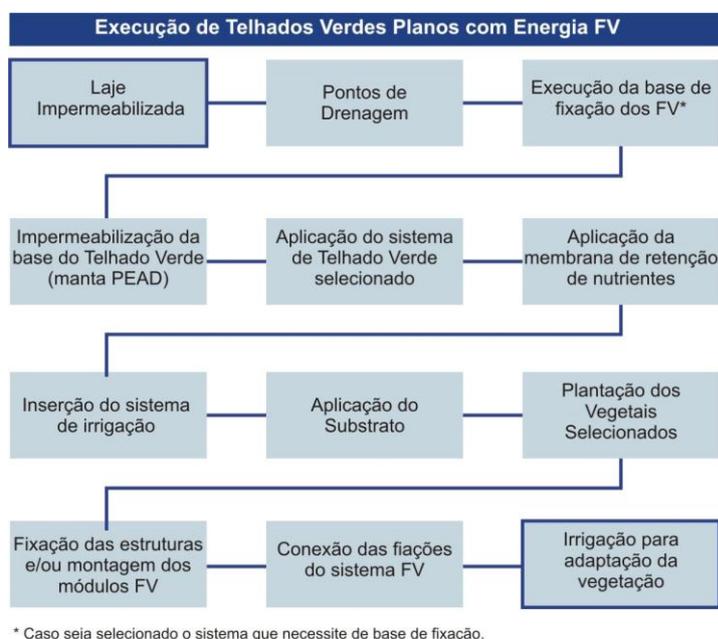


Figura 7 – Fluxograma: Guia de execução para telhados verdes integrados a sistemas FV em lajes planas.

Realizadas todas essas etapas, deve-se irrigar abundantemente o telhado verde para o desenvolvimento e adaptação da vegetação ao local durante as primeiras semanas. O sistema de acúmulo de águas da chuva contribuirá para a manutenção do telhado no ciclo de vida do sistema a médio e longo prazo.

O procedimento de implantação para telhados inclinados é semelhante ao utilizado em lajes planas, principalmente se a cobertura inclinada for uma laje em concreto (impermeabilizada ou coberta por telhas). Caso a cobertura seja em estrutura metálica ou em madeira, deve-se primeiramente avaliar se há a necessidade de reforço estrutural para suportar o peso do novo telhado. Após essa etapa, deve-se realizar o destelhamento, caso hajam telhas cerâmicas. Sobre telhas metálicas, é possível aplicar os sistemas de telhado verde sem a necessidade de destelhamento. Em seguida, deve-se aplicar as impermeabilizações como nas coberturas planas, garantindo a estanqueidade do sistema.

O sistema de telhado verde para inclinações acima de 5° (cerca de 8,7%), deve prever contenções em toda a sua área para evitar o deslizamento do substrato. Usualmente, os módulos do sistema do telhado verde já são fornecidos com as contenções, criando alvéolos ou nichos que abrigarão o substrato. O sistema com a contenção não elimina o acúmulo de água pelo ou sob o substrato, permitindo o reuso das águas de chuva para irrigação. A desvantagem dos telhados verdes aplicados em coberturas inclinadas é a impossibilidade da utilização da área como espaço de utilização dos usuários, entretanto, todos os outros benefícios são mantidos.

Levando em consideração todos os fatores apontados nessa pesquisa, pode-se afirmar que os benefícios da instalação integrada dos sistemas de geração de energia fotovoltaica sobre telhados verdes são somatizados, amplificando a eficiência individual dos sistemas e refletindo positivamente para a eficiência energética da edificação.

Foi observado também, quando aplicados no mesmo local, as placas solares produzem sombra sobre a vegetação, diminuindo a evaporação da água acumulada no solo e, conseqüentemente, minimizando a frequência da irrigação, sem prejudicar o desenvolvimento dos vegetais, ao mesmo tempo em que o resfriamento do solo interfere na diminuição da transferência de calor para a estrutura da cobertura, contribuindo para a redução das temperaturas dos ambientes internos abaixo. Outro fator positivo é o incremento na performance dos módulos fotovoltaicos que tem menos perdas na geração elétrica por conta do resfriamento do local onde estão aplicados, causado tanto pelo aumento da massa térmica do solo, quanto pela densidade e amplitude da folhagem da vegetação, que cria um colchão de ar entre as folhas e o solo, garantindo a circulação da ventilação sob os módulos. A utilização de irrigação mecânica, em casos específicos, também contribui para a auto limpeza e resfriamento das placas fotovoltaicas. Há ainda estudos que consideram que a absorção de parte da poluição urbana pelos vegetais diminui a quantidade de pó que se acumula sobre os vidros dos módulos, diminuindo a necessidade de limpeza da poeira e poluição, que reduz a produção de energia.

Considerando os benefícios para as cidades, as edificações com os sistemas integrados dependem menos do setor público para a obtenção de energia elétrica, gerando maior autonomia das edificações. A presença das áreas verdes nas coberturas também contribui para a diminuição das ilhas de calor e proporcionam a criação de ambientes mais agradáveis ao convívio dos usuários, podendo ter diversos usos como a geração de áreas de cultivo urbanas, jardins terapêuticos, contemplativos, com espécies que sejam de interesse de outras indústrias como a de cosméticos ou a farmacêutica, áreas de circulação em contato com a natureza, entre diversas outras possibilidades, se transformando em áreas que tenham a capacidade de também estreitar as relações dos usuários com o meio ambiente.

6. CONCLUSÃO

O presente estudo analisou a viabilidade técnica da integração dos sistemas de geração de energia fotovoltaica aplicados sobre telhados com coberturas vegetais (telhados verdes). A compilação das técnicas existentes no mercado brasileiro de ambos os sistemas, unidas à escolha correta dos vegetais aplicados nos telhados, com a preferência por espécies nativas, adaptadas à realidade do litoral do Nordeste brasileiro, mostrou-se viável, comprovando que os dois sistemas podem coexistir, aumentando as eficiências de cada tecnologia e contribuindo para o aumento da eficiência energética das edificações onde estão aplicados. Foi criado um resumo do passo a passo para o planejamento e execução que serve de orientação para ambas as atividades, uma vez que no Brasil ainda não existem normas específicas.

Os benefícios promovidos pela união dos sistemas podem trazer, em cidades que possuam legislação específica, descontos em taxas e impostos, atitudes que buscam incentivar a popularização dos mesmos na busca por cidades mais sustentáveis e renováveis. Essa pesquisa também buscou contribuir para a divulgação desse tipo de estratégia de implantação das tecnologias, de maneira a incentivar sua aplicação nos centros urbanos e periferias.

A título de sugestão para trabalhos futuros, percebeu-se que há poucos testes de campo realizados em regiões de baixa latitude, incluindo o Brasil, que meçam os dados e comprovem o aumento da eficiência dos sistemas fotovoltaicos na aplicação sobre os telhados verdes. Outra sugestão é a realização de estudos que incluam dados financeiros sobre a inserção e manutenção dos sistemas nas edificações.

REFERÊNCIAS

- 2030 STUDIO. Telhado verde: uma opção sustentável?. 2016. Disponível em: <<http://2030studio.com/telhado-verde-uma-opcao-sustentavel/>> Acesso em: junho 2017.
- América do sol. Energias renováveis. 2016. Disponível em: <<http://americadosol.org/energias-renovaveis-e-o-clima/>>
- Chemisana,D; Lamnatou, C. A critical analysis of factors affecting photovoltaic-green roof performance. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Elsevier, v. 43, p. 264-280, 2015.
- Chemisana,D; Lamnatou, C. Photovoltaic-green roofs: an experimental evaluation of system performance. *Applied Energy*. Elsevier, v. 119, p. 246-256, 2014.
- INMET. Normais climatológicas do Brasil. 2016. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisClimatologicas>> Acesso em: agosto 2016
- Köhler, Manfred; Wiartalla, Werner; Feige, Rene. Integration of green roof and solar photovoltaic systems. In: *Greening rooftops for sustainable communities*. Minneapolis, 2007.
- Sam, C; Hui, M; Chan, S. C. Integration of green roof and solar photovoltaic systems. In: *Joint Symposium 2011: Integrated Building Design in the New Era of Sustainability*. Hong Kong. 2011.
- Smarter Cities. 2016. Disponível em: <<http://smartercities.tumblr.com/post/1256312471/urbangreens-japans-namba-parks-has-an-8-level>> Acesso em: agosto 2017.
- Studio Cidade Jardim. Tecnologia para telhado verde. São Paulo. 2016. Disponível em: <<http://www.studiocidadejardim.com.br/tecnologia-para-telhado-verde>> Acesso em: junho 2016.
- Sustentarqui. Saiba quais são os selos para construção sustentável. Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <<http://sustentarqui.com.br/dicas/selos-para-contrucao-sustentavel/>> Acesso em: julho 2017.
- Zinco. Green roofs and solar energy. 2016. Disponível em: <http://www.zinco-greenroof.com/EN/greenroof_systems/solar_energy.php> Acesso em: agosto 2017.

GREEN ROOFS INTEGRATED TO PHOTOVOLTAIC TECHNOLOGY

Abstract. *This research focus on the technical feasibility analysis of integrating the generation of photovoltaic solar energy on green roofs. The main reason is based on the power output improvement of the photovoltaics (PV) systems when placed over vegetal surfaces that decreases roof's temperature, especially if they are applied in cities located at low latitudes, such as those on Brazil's Northeast coast. This paper analyses the technologies available in the Brazilian market for both systems (PV panels and green roofs) and elaborates technical feasibility in terms of guidance, planning, and execution, as well as exploring the benefits of linking these systems in buildings and in urban centers. The synergy between photovoltaic technology installed on green roofs has proven viable, improving climatic conditions in urban areas.*

Key words: *Green Roofs. Solar Photovoltaic, Sustainability.*